

# MÔ HÌNH ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ CỨNG TẾ VI BỀ MẶT KHI TIỆN THÉP SUS304

MODELLING THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE MICROHARDNESS IN TURNING SUS304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Phạm Văn Bồng<sup>1</sup>, Trần Viết Hải<sup>1,\*</sup>, Trần Văn Địch

## TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ bao gồm: vận tốc cắt (V), lượng tiến dao (f) và chiều sâu cắt (t) đến độ cứng tế vi bề mặt khi tiện thép không gỉ Austenit SUS304. Kết quả đo được từ các thực nghiệm dựa trên phương pháp thiết kế thực nghiệm Box-Behnken (BBD) cho thấy độ cứng tế vi tăng lên cùng với sự gia tăng của tất cả các thông số đầu vào. Sử dụng phân tích phương sai (ANOVA) để xác định mức độ đóng góp của từng thông số đến chỉ tiêu đầu ra. Kết quả phân tích cho biết lượng tiến dao có vai trò quan trọng nhất trong việc sinh ra độ cứng bề mặt (42,92%), tiếp theo là vận tốc cắt (33,51%), trong khi chiều sâu cắt có ảnh hưởng ít hơn (5,82%). Mô hình toán học quan hệ giữa các thông số công nghệ với độ cứng tế vi bề mặt được xây dựng dựa trên phương pháp bề mặt chỉ tiêu (RSM) để dự đoán các giá trị của độ cứng tế vi bề mặt.

**Từ khóa:** Phân tích phương sai; thiết kế thực nghiệm Box-Behnken; phương pháp bề mặt chỉ tiêu; độ cứng tế vi.

## ABSTRACT

This paper focuses on studying the effect of cutting parameters, including cutting speed (V), feed rate (f), and cutting of depth (t) on the surface microhardness in turning SUS304 austenitic stainless steel. The measured results from the experiments based on the Box-Behnken design (BBD) show that the microhardness increases with the increase of all input parameters. Use analysis of variance (ANOVA) to determine the contribution of each parameter to the output indicator. The analysis results demonstrate that the feed rate has the most significance in the generation of surface hardness (42.92%), followed by the cutting speed (33.51%), while the depth of cut has less significance (5.82%). The mathematical model of the relationship between the cutting parameters and the surface microhardness is developed based on the response surface methodology (RSM) to predict surface microhardness values.

**Keywords:** Analysis of variance; Box-Behnken design; Response Surface Methodology; Microhardness.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: hoitv@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/5/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

## 1. GIỚI THIỆU

Thép không gỉ được ứng dụng rộng rãi trong cuộc sống như sản xuất đồ gia dụng, thiết bị y tế, thực phẩm, công

ngiệp hàng không với tính cơ tính và lý tính tốt, hình dạng đẹp, độ cứng cao, khả năng chống ăn mòn và chịu nhiệt tốt... Trong đó, thép không gỉ SUS304 là loại thép được dùng nhiều nhất trong các loại thép Austenit - loại thép chiếm khoảng 72% trong số các họ thép không gỉ [8]. Tuy nhiên, thép không gỉ Austenit cũng có nhược điểm đó là tính công nghệ khi cắt gọt không cao, thể hiện rõ nhất là lực cắt lớn, nhiệt cắt cao, biến cứng cao và dễ dẫn đến hiện tượng phoi bám và lẹo dao,... đây là nguyên nhân dẫn đến năng suất thấp, tăng độ mòn dụng cụ cắt và chất lượng bề mặt kém, do vậy thép không gỉ Austenit là điển hình của loại vật liệu khó gia công.

Chất lượng bề mặt được xác định bởi các đặc trưng về cơ, lý, hóa tính và cấu trúc liên kết của đặc tính bề mặt như: sự thay đổi về độ nhám, độ cứng tế vi bề mặt, cấu trúc tế vi và ứng suất dư... [6]. Chất lượng bề mặt có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất làm việc của chi tiết bao gồm khả năng chống ăn mòn và độ bền mỏi. Độ cứng tế vi là đặc tính vật lý của chất lượng bề mặt và có thể ảnh hưởng đến đến tuổi thọ và khả năng làm việc của chi tiết [11].

Schwach và cộng sự [14] đã nghiên cứu ảnh hưởng của chất lượng bề mặt khi tiện thép chịu lực AISI5210 thông qua xác định ứng suất dư và đo lớp trắng. Lớp trắng có độ cứng tế vi tăng lên khi so sánh với vật liệu nền và liên quan đến ứng suất dư kéo. Pawade và cộng sự [13] tối ưu hóa các thông số gia công để phân tích chất lượng bề mặt khi tiện Inconel 718. Các thông số đầu vào được sử dụng như vận tốc cắt, lượng tiến dao, chiều sâu cắt, hình dạng lưỡi cắt và thông số đầu ra là ứng suất dư, độ cứng tế vi và mức độ biến cứng. Kết quả cho thấy rằng chất lượng bề mặt tốt có được nhờ vận tốc cắt cao hơn, lượng tiến dao thấp hơn và chiều sâu cắt vừa phải với hình dạng lưỡi cắt được mài giữa.

G. H. Senussi và cộng sự [15] đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số gia công đến độ cứng tế vi của phoi trong quá trình tiện thép không gỉ SUS304. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp bề mặt chỉ tiêu để xây dựng mối quan hệ giữa các tham số đầu vào với chỉ tiêu đầu ra. Kết quả cho thấy giá trị độ cứng tế vi phoi được tăng lên ở vận tốc cắt thấp hơn.

Tương tự như vậy, Thakur và cộng sự [3] đã phân tích độ cứng tế vi của phoi khi tiện Inconel 718. Kết quả cho thấy rằng phân tích phoi được sử dụng để nghiên cứu khả năng

gia công của vật liệu. Ebrahimi và cộng sự [4] đã tiến hành gia công hợp kim titan bằng dụng cụ phủ cacbua và kết quả cho thấy khi vận tốc cắt tăng từ 55m/phút lên 75m/phút và cao hơn là 95m/phút thì độ biến cứng tăng lên.

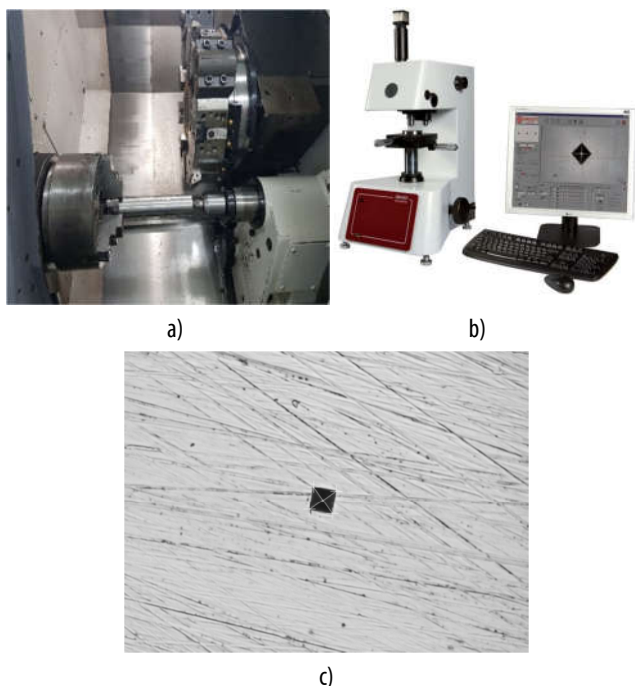
Một số nghiên cứu đã chứng minh rằng việc giảm vận tốc cắt làm tăng các giá trị của độ cứng bề mặt khi tiện thép Austenit SUS304 [15], thép Austenit 12-Mn [2] và thép không gỉ duplex [10].

Từ các nghiên cứu có thể thấy rằng, ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ cứng tế vi vẫn chưa được hiểu một cách đầy đủ, mối quan hệ giữa các thông số đầu vào với độ biến cứng chưa được xác định rõ bằng phương trình toán học. Do vậy, bài báo này tập trung vào các vấn đề nghiên cứu liên quan đến độ cứng tế vi như một thông số vật lý của chất lượng bề mặt sau tiện thép không gỉ SUS304. Mục đích chính của nghiên cứu này là xác định ảnh hưởng của chế độ cắt đến việc kiểm soát độ cứng tế vi khi gia công và xây dựng mô hình toán học quan hệ giữa chế độ cắt với độ cứng tế vi.

## 2. QUY TRÌNH THỰC NGHIỆM

### 2.1. Điều kiện thực nghiệm

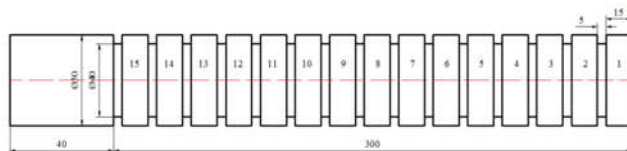
Thực nghiệm được tiến hành trên máy tiện CNC Mori Seiki SL-253 CNC với các đặc tính kỹ thuật như sau: tốc độ quay trục chính tối đa 4000vòng/phút và công suất danh định 28kVA. Độ cứng được đo trên máy đo độ cứng tế vi ISOSCAN HV2 AC hãng GALILEO. Chiều sâu lớp cứng được kiểm tra trong khoảng 20µm với tải trọng 25g trong 10s, mỗi giá trị đo được xác định bằng 03 lần đo (cách nhau 120°) sau đó lấy giá trị trung bình. Thiết bị thực nghiệm và đo độ cứng được thể hiện như hình 1.



Hình 1. Thiết bị thực nghiệm

a) Máy tiện CNC Mori Seiki SL-253; b) Máy đo độ cứng tế vi; c) Điểm đo trên mẫu đo

Thép không gỉ SUS304 có thành phần hóa học và đặc tính vật lý như bảng 1 và 2 được chọn để tiến hành thực nghiệm [17]. Phôi có kích thước đường kính  $\phi = 50$  mm được cắt rãnh trên dọc chiều dài để tạo thành 15 mẫu như hình 2 dùng trong thực nghiệm.



Hình 2. Bản vẽ phôi thực nghiệm

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép không gỉ SUS304

Thành phần hóa học	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S
Tỷ lệ (%)	0,07	18,49	8,15	0,57	0,76	0,03	0,009

Bảng 2. Đặc tính vật lý của thép không gỉ SUS304

Nhiệt dung riêng (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Mô đun đàn hồi (GPa)	Hệ số giãn nở nhiệt (10 <sup>-6</sup> .K <sup>-1</sup> )	Độ dẫn nhiệt (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Tỷ trọng (g/cm <sup>3</sup> )
500	200	17,3	16,3	7,93

Dụng cụ cắt là các mảnh chip chuyên dùng gia công thép không gỉ của hãng Sandvik Coromant. Loại mảnh hợp kim cắt là DCMT 11 T3 04 - MF 2220 phủ CVD Ti (C, N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN. Các mức của chế độ cắt được chọn để tiến hành thực nghiệm theo khuyến cáo của nhà sản xuất mảnh hợp kim dụng cụ cắt hãng Sanvik và thực nghiệm khảo sát, cụ thể như trong bảng 3.

Bảng 3. Các thông số của chế độ cắt

Yếu tố	Đơn vị	Mức		
		1	2	3
Tốc độ cắt (V)	(m/phút)	230	260	290
Lượng tiến dao (f)	(mm/vòng)	0,08	0,14	0,20
Chiều sâu cắt (t)	(mm)	0,10	0,25	0,50

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thực nghiệm được tiến hành dựa trên phương pháp thiết kế Box-Behnken (BBD) với ba mức cho mỗi yếu tố và số lượng mẫu ít nhất (15 mẫu thực nghiệm) khi so sánh với phương pháp thiết kế phức hợp trung tâm (CCD) [1, 5].

ANOVA xác định mức ý nghĩa của các tham số đầu vào và đóng góp của các tham số đó đến kết quả đầu ra. ANOVA chỉ ra rằng một mô hình được coi là có ý nghĩa nếu giá trị P nhỏ hơn 0,05, nghĩa là mức ý nghĩa của mô hình ở mức ý nghĩa 5% theo đề xuất của Lilian và Charles trong tài liệu [7]. Trong nghiên cứu này, phần mềm Minitab phiên bản 18 đã được sử dụng để phân tích ANOVA.

Để xây dựng mô hình toán học quan hệ giữa các biến đầu vào và chỉ tiêu đầu ra, nghiên cứu sử dụng phương pháp bề mặt chỉ tiêu (RSM). Trên cơ sở số lượng biến đầu vào của nghiên cứu, các kết quả thực nghiệm thu được thích hợp cho việc sử dụng phương trình hồi quy bậc 2 [1].

$$y = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i x_i + \sum_{i=1}^N c_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j=1; i < j}^N c_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Với  $y$  là hàm chỉ tiêu;  $c_i, c_{ii}, c_{ij}$  là các hệ số tuyến tính bậc hai và điều kiện ràng buộc;  $x_i, x_j$  là các giá trị độc lập.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả đo độ cứng tế vi bề mặt được thể hiện trong bảng 4, có thể thấy rằng độ cứng tế vi đo được nằm trong khoảng từ 309 đến 441 HV<sub>0,025</sub>.

Bảng 4. Kết quả đo độ cứng tế vi

Mẫu	V (m/phút)	f (mm/vòng)	t (mm)	HV 0,025
1	290	0,2	0,25	348
2	260	0,14	0,25	329,5
3	260	0,14	0,25	329,5
4	230	0,2	0,5	441
5	230	0,14	0,1	332,5
6	260	0,08	0,5	336
7	260	0,2	0,1	402
8	260	0,14	0,25	329,5
9	260	0,08	0,1	309
10	230	0,2	0,25	438
11	290	0,14	0,1	316
12	290	0,08	0,25	312,5
13	230	0,14	0,5	392,5
14	230	0,08	0,25	335
15	290	0,14	0,5	324,5

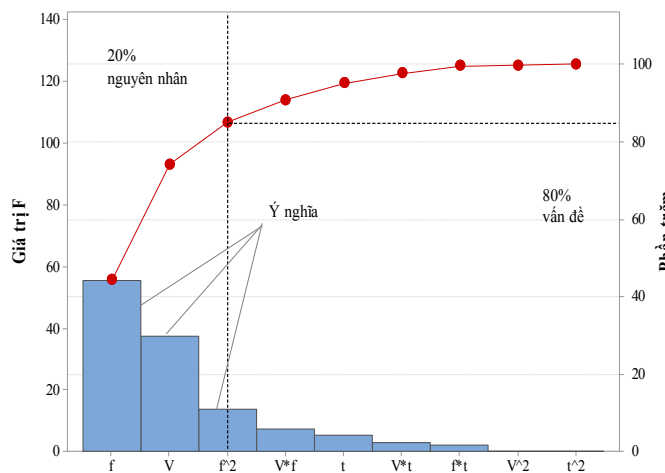
Tiến hành phân tích phương sai (ANOVA) các số liệu thực nghiệm, kết quả được thể hiện trong bảng 5.

Quan sát giá trị P cho thấy trong ba thông số của chế độ cắt thì lượng tiến dao và vận tốc cắt thể hiện mức ý nghĩa, tức là thể hiện sự ảnh hưởng rõ nét, còn chiều sâu cắt không cho biết ý nghĩa về mặt thống kê, có nghĩa là sự ảnh hưởng của nó là rất ít. Lượng tiến dao có ảnh hưởng lớn nhất đến độ cứng tế vi của chi tiết sau khi gia công với mức độ đóng góp là 42,92% sau đó đến vận tốc cắt với 33,51% và chiều sâu cắt với 5,82%.

Bảng 5. ANOVA cho độ cứng tế vi

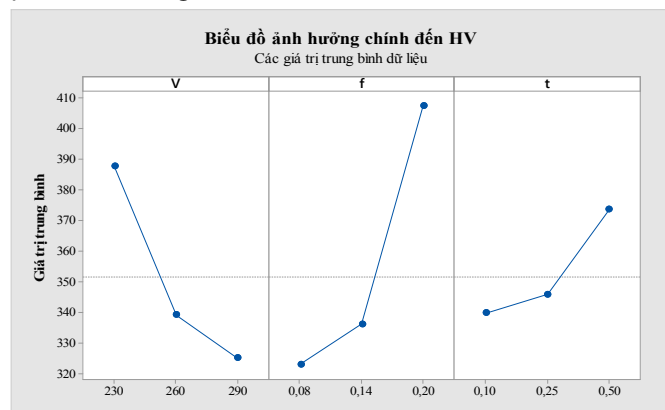
Nguồn	DF	SS dãy số	Mức đóng góp	SS hiệu chỉnh	MS hiệu chỉnh	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	9	26701	97,53%	26701	2966,78	21,93	0,002
V	1	9175,5	33,51%	5074,6	5074,56	37,51	0,002
f	1	11750,8	42,92%	7501,3	7501,29	55,45	0,001
t	1	1592,4	5,82%	713,9	713,85	5,28	0,07
V2	1	34,8	0,13%	51,8	51,84	0,38	0,563
f2	1	2498,5	9,13%	1849,7	1849,69	13,67	0,014
t2	1	132,3	0,48%	38,8	38,8	0,29	0,615
V.f	1	916,9	3,35%	980,7	980,66	7,25	0,043
V.t	1	277,9	1,01%	428,5	428,46	3,17	0,135

f.t	1	322,1	1,18%	322,1	322,12	2,38	0,183
Lỗi	5	676,4	2,47%	676,4	135,27		
Thiếu phù hợp	3	676,4	2,47%	676,4	225,45	*	*
Lỗi thuần túy	2	0	0,00%	0	0		
Tổng	14	27377,4	100,00%				



Hình 3. Biểu đồ Pareto của các ảnh hưởng đến HV

Xây dựng biểu đồ Pareto để hiển thị rõ ràng hơn kết quả phân tích phương sai (ANOVA). Hình 3 thể hiện thứ tự xếp hạng các thông số công nghệ và tương tác của các thông số đó về ảnh hưởng giảm dần đối với độ cứng tế vi được phân loại theo giá trị F (Fisher) lần lượt là  $f > V > f^2$ .

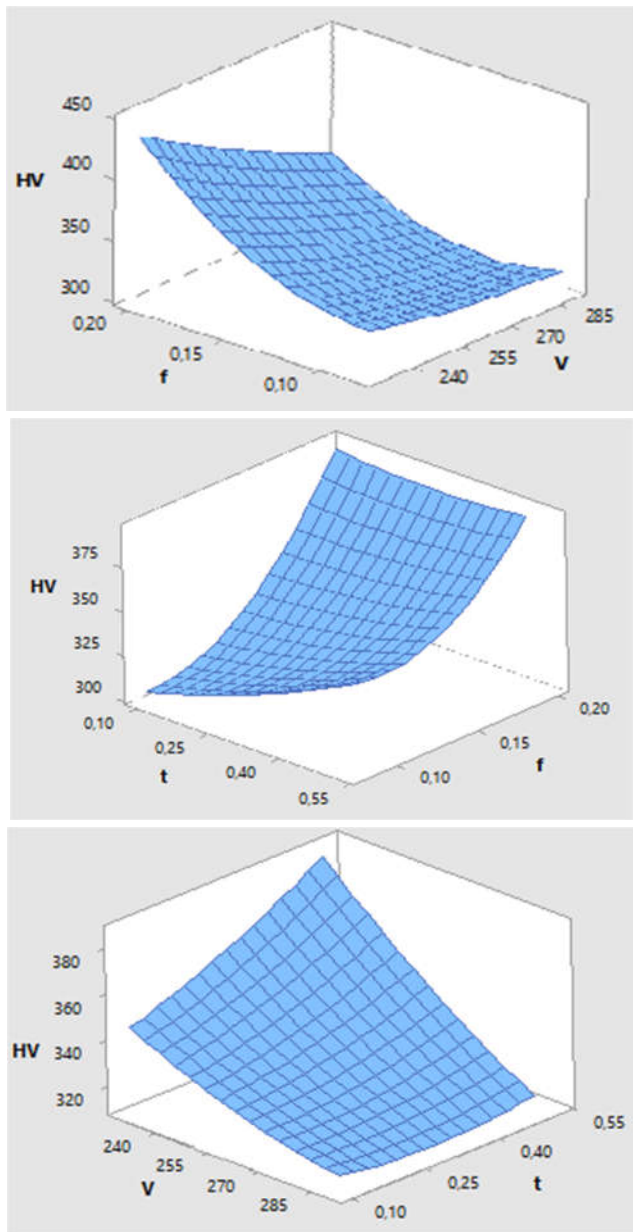


Hình 4. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến HV

Khi phân tích riêng rẽ ảnh hưởng của từng thông số đến độ cứng tế vi trên hình 4 có thể thấy rằng khi vận tốc cắt thay đổi từ 230m/phút đến 260m/phút, độ cứng tế vi bề mặt giảm rất mạnh. Điều này là do, khi vận tốc cắt tăng lên, lực cắt giảm do đó giảm lượng sinh nhiệt và do đó tốc độ biến cứng giảm. Tương tự như vậy khi lượng tiến dao tăng ở mức cao từ 0,14mm/vòng đến 0,2mm/vòng, độ cứng tế vi tăng rất nhanh và đạt giá trị cao nhất khi lượng tiến dao lớn nhất. Cơ chế này được giải thích như sau: khi lượng tiến dao tăng lên, một lượng lớn kim loại bị bóc tách, nhiệt độ vùng cắt tăng lên và biến dạng dẻo do sự gia tăng lực cắt dẫn đến tăng biến cứng bề mặt gia công, đặc biệt là ở mặt phân

cách giữa bề mặt phôi và dụng cụ cắt. Kết quả trên phù hợp với một số công bố trước đây về ảnh hưởng của vận tốc cắt và lượng tiến dao đến độ cứng tế vi khi gia công các vật liệu có tính dẻo cao [9, 12, 16].

Sự thay đổi chiều sâu cắt làm thay đổi không đáng kể độ cứng tế vi.



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa HV với (V, f, t)

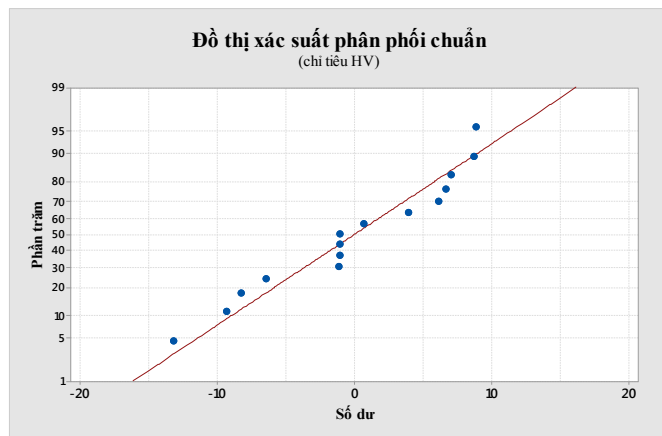
Biểu đồ bề mặt giúp thiết lập sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các biến phản hồi và tham số điều khiển. Biểu đồ bề mặt cho thấy hình ảnh 3D và cung cấp minh họa tốt hơn về biến phản hồi. Biểu đồ cũng chỉ ra tính đầy đủ của các mô hình hồi quy và làm nổi bật sự tương tác chéo giữa các biến đầu vào. Nếu biểu đồ bề mặt phản hồi là mặt phẳng, điều đó có nghĩa là không có tương tác chéo giữa các tham số điều khiển. Để xác định sự đầy đủ của phân tích ANOVA đối với độ cứng tế vi, các biểu đồ bề mặt được xây dựng. Hình 5 minh họa mô hình bề mặt với vận tốc cắt, lượng tiến dao và

chiều sâu cắt thay đổi. Đồ thị chỉ ra rằng độ cứng tế vi tăng lên đáng kể với lượng tiến dao và chiều sâu cắt tăng, đồng thời tốc độ cắt giảm.

Mô hình quan hệ giữa độ cứng tế vi với chế độ cắt được xây dựng dựa trên phương trình đa thức bậc 2. Hàm hồi quy được xây dựng dựa trên phương pháp bề mặt chỉ tiêu (RSM). Sử dụng phần mềm tính toán tìm hàm hồi quy và độ tin cậy ta được kết quả:

$$\begin{aligned}
 HV = & 428 - 1,56V + 1248f + 543t + 0,00462V^2 \\
 & + 6340f^2 + 88t^2 - 8,47Vf - 1,645Vt - 842ft \quad (2) \\
 R^2 = & 97,53\%
 \end{aligned}$$

Đồ thị xác suất phân phối chuẩn với dự đoán chỉ tiêu độ nhám bề mặt cho thấy hầu hết các điểm được tìm thấy gần với đường 45° cùng với độ phân tán thấp, có nghĩa là tính chuẩn được thỏa mãn được thể hiện ở hình 6. Giá trị  $R^2 = 97,53\%$  cho thấy mô hình xây dựng được đáng tin cậy.



Hình 6. Đồ thị xác suất phân phối chuẩn cho HV

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở kết quả thu được từ nghiên cứu trên, các kết luận sau đây được rút ra phù hợp với phạm vi nghiên cứu.

- Độ cứng tế vi bề mặt tăng lên khi các thông số vận tốc cắt (V) giảm, lượng tiến dao (f) và chiều sâu cắt (t) tăng lên. Giá trị độ cứng tế vi bề mặt đo được cao nhất là  $441HV_{0,025}$ .
- Phân tích phương sai (ANOVA) cho kết quả lượng tiến dao là thông số quan trọng và có ảnh hưởng lớn nhất đến độ cứng tế vi với mức đóng góp là 42,92%, tiếp theo là vận tốc cắt (33,51%) và chiều sâu cắt ít ảnh hưởng hơn (5,82%).
- Mô hình toán học quan hệ giữa độ cứng tế vi bề mặt với chế độ cắt xây dựng được dựa trên phương pháp bề mặt chỉ tiêu (RSM) có độ tin cậy cao (97,53%) và có thể được sử dụng để dự đoán độ cứng tế vi bề mặt và tiến tới tối ưu hóa quá trình gia công.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS, Escalera LA. 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76, 965–977.

- [2]. Cebron M, Kosel M, Kopac J, 2012. *Effect of cutting on surface hardness and residual stresses for 12Mn austenitic steel*. J Achiev Mater Manuf Eng, 55, 80–89.
- [3]. D'Addona DM, Raykar SJ, Narke MM, 2017. *High Speed Machining of Inconel 718: Tool Wear and Surface Roughness Analysis*. Procedia CIRP, 62, 269–274.
- [4]. Ebrahimi A, Moshksar MM, 2009. *Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology*. J Mater Process Technol, 209, 910–921.
- [5]. H. Myers R, C. Montgomery D, Anderson-Cook M C, 2016. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. WILEY Ser Probab Stat Establ. doi: 10.1017/CB09781107415324.004
- [6]. Jang DY, Watkins TR, Kozaczek KJ, Hubbard CR, Cavin OB, 1996. *Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel*. Wear, 194, 168–173.
- [7]. Kao LS, Green CE, 2008. *Analysis of Variance: Is There a Difference in Means and What Does It Mean?*. J Surg Res, 144, 158–170.
- [8]. Karunya G, Ravikumar P, Geeta Krishna P, Shiva Krishna P, 2017. *Optimization of the surface roughness by applying the taguchi technique for the turning of AISI 304 austenitic stainless steel*. Int J Mech Eng Technol, 8, 694–701.
- [9]. Krolczyk G, Legutko S, Nieslony P, Gajek M, 2014. *Study of the surface integrity microhardness of austenitic stainless steel after turning*. Teh Vjesn - Tech Gaz, 21, 1307–1311.
- [10]. Krolczyk G, Nieslony P, Legutko S, 2014. *Microhardness and surface integrity in turning process of duplex stainless steel (DSS) for different cutting conditions*. J Mater Eng Perform, 23, 859–866.
- [11]. Kundrak J, Mamalis AG, Gyani K, Bana V, 2011. *Surface layer microhardness changes with high-speed turning of hardened steels*. Int J Adv Manuf Technol, 53, 105–112.
- [12]. Martín-Béjar S, Trujillo Vilches FJ, Gamboa CB, Hurtado LS, 2020. *Cutting speed and feed influence on surface microhardness of dry-turned UNS A97075-T6 alloy*. Appl Sci. doi: 10.3390/app10031049
- [13]. Pawade RS, Joshi SS, Brahankar PK, 2008. *Effect of machining parameters and cutting edge geometry on surface integrity of high-speed turned Inconel 718*. Int J Mach Tools Manuf, 48, 15–28.
- [14]. Schwach DW, Guo YB, 2006. *A fundamental study on the impact of surface integrity by hard turning on rolling contact fatigue*. Int J Fatigue, 28, 1838–1844.
- [15]. Senussi GH, 2007. *Interaction Effect of Feed Rate and Cutting Speed in CNC-Turning on Chip Micro-Hardness of 304-Austenitic Stainless Steel*. Proc World Acad Sci Eng Technol Vol 22, 22, 121–126.
- [16]. Senussi GH, 2007. *Interaction Effect of Feed Rate and Cutting Speed in CNC-Turning on Chip Micro-Hardness of 304- Austenitic Stainless Steel*. Int J Mech Mechatronics Eng, 1, 159–164.
- [17]. The European Stainless Steel Development Association (Euro Inox), 2007. *Stainless steel: tables of technical properties*. Mater Appl Ser, 5, 24.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Pham Van Bong<sup>1</sup>, Tran Viet Hoi<sup>1</sup>, Tran Van Dich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Hanoi University of Science and Technology